

УДК 621.317.6, 159.93

Психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами ПМТОС9. Основные положения

Сергеев А. П. *, Королькова Д. В., Тарасов Д. А., Арапов С. Ю., Сыдихов А. Ш.

Уральский федеральный университет, институт радиоэлектроники и информационных технологий–РтФ, ул. Мира, 32, Екатеринбург, Россия, 620002

Аннотация. Изучение закономерностей, связывающих объективный мир стимулов с субъективной интенсивностью вызываемых ими ощущений, является основной задачей психофизики. Решению этой задачи посвящены классические труды Вебера, Фехнера, Стивенса, а также психофизическая модель теории обнаружения сигнала. Эта модель имеет четыре исхода и предназначена для количественного описания решения сенсорной задачи по обнаружению наличия сигнала, но не его знака, что ограничивает область ее применения. В настоящей работе предложена психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами (ПМТОС9) для количественного описания решения сенсорной задачи по обнаружению знакопеременного дифференциального сигнала. Дифференциальный сигнал в предлагаемой модели представлен дифференциальным стимулом — двумя одиночными стимулами, предъявляемыми последовательно или одновременно. Испытуемому предъявляется дифференциальный сигнал, который может быть отрицательным, нулевым или положительным. Испытуемый отвечает, какой сигнал он обнаружил: отрицательный, нулевой или положительный. Таким образом, в предлагаемой модели имеется девять возможных исходов. В частности, эта модель учитывает наличие исходов, когда предъявлен положительный сигнал, а обнаружен отрицательный и наоборот. Мы назвали эти исходы инверсиями. Такие исходы не предусмотрены классической моделью с четырьмя исходами. Предложенная психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами представляет собой более общий случай и может быть использована для построения психофизических функций.

Ключевые слова: сенсорная задача, сигнал, психофизическая модель теории обнаружения сигнала, знакопеременный дифференциальный сигнал, психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами.

Psychophysical model of the theory of signal detection with nine outcomes of PMTSD9. Basic Provisions

Sergeev A.P.* , Korolkova D. V., Tarasov D.A., Arapov S.Yu., Sydihev A.S.

Ural Federal University, Mira, 32, Ekaterinburg, RUSSIA, 620002

Abstract. The study of the laws connecting the objective world of stimuli with the subjective intensity of the sensations caused by them is the main task of psychophysics. The classical works of Weber, Fechner, and Stevens are devoted to solving this problem, and also a psychophysical model of the theory of signal detection. This model has four outcomes and is intended for a quantitative description of the solution of the sensory problem for detecting the presence of a signal, but not its sign, which limits the scope of its application. In the present work, a psychophysical model of the signal detection theory with nine outcomes (PMTOS9) is proposed to quantitatively describe the solution of the sensory problem for detecting a sign-alternating differential signal. The differential signal in the proposed model is represented by a differential stimulus - two single stimuli, presented sequentially or simultaneously. The test subject is presented with a differential signal, which can be negative, zero or positive. The subject answers what signal he detected: negative, zero, or positive. Thus, in the proposed model there are nine possible outcomes. In particular, this model takes into account the presence of outcomes, when a positive signal is presented, and a negative signal is detected and vice versa. We called these outcomes inversions. Such outcomes are not foreseen by the classical model with four outcomes. The proposed psychophysical model of the detection theory of a signal with nine outcomes is a more general case and can be used to construct psychophysical functions.

Keywords: sensory task, signal, psycho-physical model of the theory of signal detection, sign-alternating differential signal, psychophysical model of the theory of signal detection with nine outcomes.

Введение

В современной психофизике теория обнаружения сигнала (ТОС) представляет собой базовую теорию, принципы которой легли в основу классической психофизической модели теории обнаружения сигнала [1]. Основные положения классической модели следующие: сигнал или его отсутствие воспринимаются испытуемым на фоне некоторого шума; решение о наличии или отсутствии сигнала

принимается испытуемым на основе внутреннего критерия. Эта модель имеет четыре исхода, подробно описана в литературе (напр.: [1], [2], [3], [4], [5]) и в настоящей работе детально не рассматривается. Классическая психофизическая модель теории обнаружения сигнала с четырьмя исходами находит широкое применение в современных психофизических исследованиях (напр.: [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]). Во всех этих работах классическая модель применяется для количественного описания решения сенсорной задачи по обнаружению наличия сигнала, но не его знака, что ограничивает область ее применения.

Цель настоящей работы: предложить психофизическую модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами (ПМТОС9) для количественного описания решения сенсорной задачи по обнаружению знакопеременного дифференциального сигнала.

Описание психофизической модели теории обнаружения сигнала с девятью исходами ПМТОС9

Дифференциальный стимул представляет собой два одиночных стимула предъявляемых последовательно или одновременно и отличающихся значениями некоторой контролируемой исследователем переменной. Дифференциальный сигнал есть разность этих значений.

Испытуемому предъявляется постоянный по абсолютному значению дифференциальный сигнал в виде дифференциального стимула. Этот сигнал может быть отрицательным, нулевым (в случае «пустых» проб) или положительным. Испытуемый отвечает, какой сигнал он обнаружил: отрицательный, нулевой или положительный.

ПМТОС9, в отличие от классической модели, имеет три функции плотности вероятности субъективной интенсивности и знака дифференциального сигнала (вместо двух), два критерия (вместо одного) и девять исходов (вместо четырех). Принципиальным отличием ПМТОС9 от классической модели является наличие событий, когда предъявлен положительный сигнал, а обнаружен отрицательный и наоборот. Такие исходы не предусмотрены классической моделью. Мы назвали эти исходы инверсиями. Основные положения предлагаемой модели представлены на рисунке и в таблице исходов.

Результаты

Предложенная в настоящей работе психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами ПМТОС9 предназначена для количественного описания решений сенсорных задач по обнаружению знакопеременных дифференциальных сигналов. Эта модель также может применяться для построения психофизических функций при некоторых предположениях относительно вида

функций плотности вероятности субъективной интенсивности и знака дифференциального сигнала. Предложенная модель ПМТОС9 расширяет область применения классической психофизической модели теории обнаружения сигнала на случай знакопеременных сигналов и включает классическую модель как частный случай.

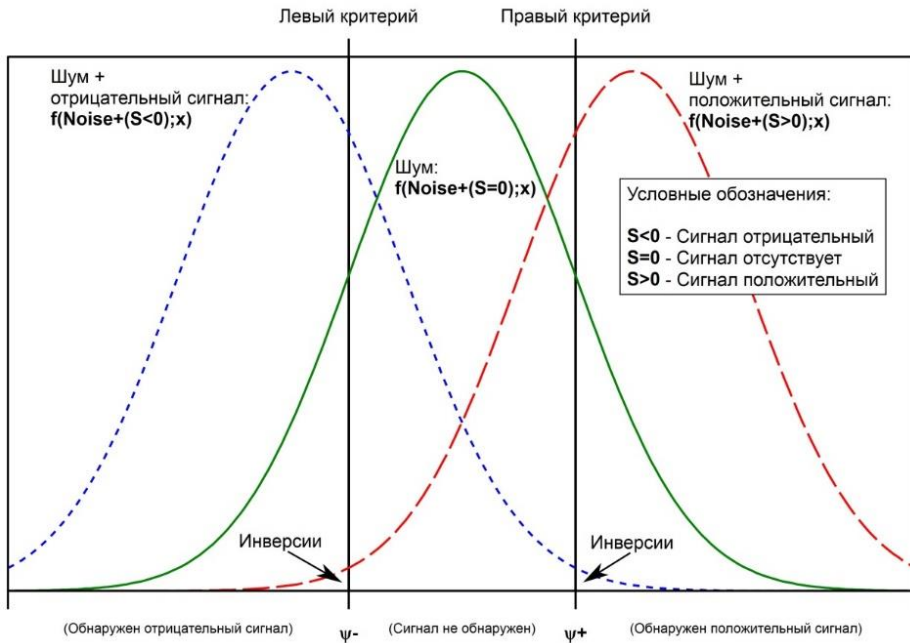


Рис. 1. Психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами

Таблица 1. Исходы ПМТОС9 и условные обозначения

Наличие и знак дифференциального сигнала	Результат обнаружения наличия и знака дифференциального сигнала	Событие и его описание	Обозначение события	Вероятности событий
+	+	Hit (+) Попадание (Правильное обнаружение положительного сигнала)	H+	$h^+ = P(H^+)$ $= \int_{\psi^+}^{+\infty} f(\text{Noise} + (S > 0); x) dx$

Таблица 1. Продолжение

+	0	Omission (+) Пропуск положи- тельного сигнала	O+	$o^+ = P(O^+)$ $= \int_{\psi^-}^{\psi^+} f(Noise + (S > 0); x)dx$
+	–	Inversion (+) Инверсия положи- тельного сигнала	I+	$i^+ = P(I^+)$ $= \int_{-\infty}^{\psi^-} f(Noise + (S > 0); x)dx$
0	+	False Alarm (+) Ложная тревога (Ложное обнаружение по- ложительного сиг- нала)	FA ⁺	$\alpha^+ = P(FA^+)$ $= \int_{\psi^+}^{+\infty} f(Noise + (S = 0); x)dx$
0	0	Correct Rejection Корректное отри- цание наличия сигнала	CR	$\gamma = P(CR)$ $= \int_{\psi^-}^{\psi^+} f(Noise + (S = 0); x)dx$
0	–	FalseAlarm (-) Ложная тревога (Ложное обнаружение от- рицательного сиг- нала)	FA ⁻	$\alpha^- = P(FA^-)$ $= \int_{-\infty}^{\psi^-} f(Noise + (S = 0); x)dx$
–	+	Inversion (-) Инверсия отрицательного сигнала	I ⁻	$i^- = P(I^-)$ $= \int_{\psi^+}^{+\infty} f(Noise + (S < 0); x)dx$
–	0	Omission (-) Пропуск отрица- тельного сигнала	O ⁻	$o^- = P(O^-)$ $= \int_{\psi^-}^{\psi^+} f(Noise + (S < 0); x)dx$
–	–	Hit (-) Попадание (Правильное обна- ружение отрица- тельного сигнала)	H ⁻	$h^- = P(H^-)$ $= \int_{-\infty}^{\psi^-} f(Noise + (S < 0); x)dx$

Условные обозначения:

$f(\text{Noise} + (S > 0); x)$ — функция плотности вероятности субъективной интенсивности и знака дифференциального сигнала при предъявлении на фоне шума положительного дифференциального сигнала;

$f(\text{Noise} + (S = 0); x)$ — Функция плотности вероятности субъективной интенсивности и знака дифференциального сигнала при предъявлении на фоне шума нулевого дифференциального сигнала;

$f(\text{Noise} + (S < 0); x)$ — Функция плотности вероятности субъективной интенсивности и знака дифференциального сигнала при предъявлении на фоне шума отрицательного дифференциального сигнала; ψ^- — левый критерий; ψ^+ — правый критерий.

Список литературы

1. Мещеряков Б. Г., Зинченко В. П. Большой психологический словарь. СПб.: Прайм Еврознак. 2006. 672 с.
2. Peter R Killeen. Signal Detection Theory [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/260285563>.
3. John A. Swets. Detection theory and psychophysics: a review // Psychometrika. 1961.
4. Психофизика: законы Фехнера и Стивенса. Основные положения теории обнаружения сигнала [Электронный ресурс]. URL: <http://shpargalki.ru/news/34.html>.
5. Harold Stanislaw, Natasha Todorov. Calculation of signal detection theory measures// Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 1999, 31 (1), P. 137–149
6. Барабанщиков В. А. Использование теории обнаружения сигнала для разработки модели принятия решения и уверенности в нем человека // Психология. М. 2008. С. 45–156.
7. Забродин Ю. М. Процессы принятия решения на сенсорно - перцептивном уровне // Проблемы принятия решений. М. 1976. С. 33–55.
8. Карпинская В. Ю. Влияние иллюзорного изменения стимула на порог его обнаружения: диссертация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissercat.com/content/vliyanie-illyuzornogo-izmeneniya-stimula-na-porog-ego-obnaruzheniya>.
9. Головина Г.М. Принятие сенсорных решений при предъявлении неопределенных и иллюзорных стимулов//Психофизика сегодня. М. ИП РАН, 2006. С. 10–17.
10. Данилова М. В., Моллон Д. Д. Психофизический метод для измерения порогов различения/сравнения двух одновременно предъявляемых зрительных стимулов // Психофизика сегодня. М.: ИП РАН, 2006. С. 26–36.
11. Шендяпин В. М. Сенсорное различение: математическое моделирование // Психофизика сегодня. М.: ИП РАН, 2006. С. 123–135.
12. Бибииков Н. Г., Ищенко С. М. Пороги обнаружения периодичности сигнала при наличии шумовой модуляции – признаки стохастического резонанса // Психофизика сегодня. М. ИПРАН, 2006. С. 247–254.
13. E. Leslie Cameron¹, Joanna Tai, Miguel Eckstein and Marisa Carrasco. Signal detection theory applied to three visual search tasks— identification, yes/no detection and localization//Spatial Vision, 2004, № 4–5. P. 295–325.

14. John Wixted. Dual-process theory and signal detection theory of recognition memory [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/6575622260285563>
15. Владыкина Н. П., Карпинская В. Ю. Различение стимулов при восприятии их в автостереографическом изображении // Вестник СПбГУ. 2011. Сер. 12. С. 51–55.
16. Скотникова И. Г. Проблемы субъектной психофизики. М.: Изд-во ИП РАН. 2008.
17. Уточкин И. С. Психологические механизмы решения задачи по обнаружению сигнала: диссертация // Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2006.
18. Гусев А. Н. От психофизики «чистых» ощущений к психофизике сенсорных задач: системно-деятельностный подход в психофизике // Вопросы психологии. М. 2013. С. 143–155.
19. Шендяпин В. М. Использование теории обнаружения сигнала для разработки модели принятия решения и уверенности в нем человека // Психология. М. 2008. С. 45–156.
20. Боринг Э. Психофизика Фехнера // Асмолов А. Г., Михалевская М. Б. (ред.) Проблемы и методы психофизики. М.: МГУ, 1974. С. 20–32.
21. Стивенс С. С. Психофизика сенсорной функции // Психология ощущений и восприятия / Под ред. Гиппенрейтера Ю. Б., Любимова В. В., Михалевской М.Б. М.: ЧеРо, 1999.